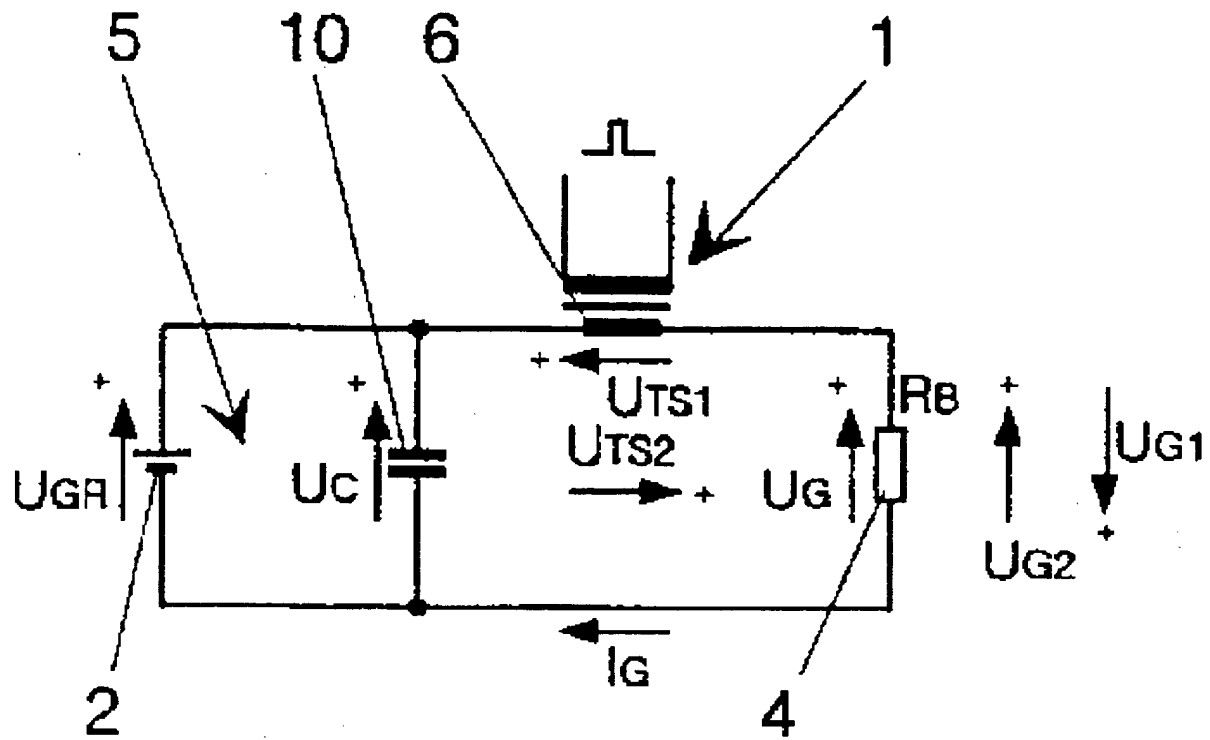


AN: PAT 1996-507022
 TI: Mfg. unipolar or bipolar pulsed current for plating esp. of circuit boards at high current involves series inductive coupling of pulsed current into electroplating DC circuit formed by bath DC source and electrolytic cell
 PN: **DE19547948-C1**
 PD: 21.11.1996
 AB: Prodn. of short, cyclically repeating, unipolar or bipolar pulsed currents for electroplating involves series inductive coupling of a pulsed current into the electroplating d.c. circuit formed by a bath d.c. source and an electrolytic cell such that the bath d.c. is compensated or over-compensated. Also claimed is circuitry for carrying out the above method.; USE - In metal electroplating processes, esp. for vertical or horizontal pulse plating of circuit boards. ADVANTAGE - The method allows unipolar and/or bipolar pulse plating with high currents without the use of inefficient high current electronic switches.
 PA: (ATOT-) ATOTECH DEUT GMBH;
 IN: UUEBEL E; HUEBEL E; HUBEL E;
 FA: **DE19547948-C1** 21.11.1996; CZ290052-B6 15.05.2002; WO9723665-A1 03.07.1997; EP868545-A1 07.10.1998; CZ9801700-A3 14.10.1998; CN1205745-A 20.01.1999; BR9612163-A 13.07.1999; EP868545-B1 27.10.1999; DE59603510-G 02.12.1999; ES2139388-T3 01.02.2000; JP2000505145-W 25.04.2000; KR99071793-A 27.09.1999; US6132584-A 17.10.2000;
 CO: AT; BE; BR; CA; CH; CN; CZ; DE; DK; EP; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; JP; KR; LI; LU; MC; NL; PT; SE; SG; US; WO;
 DN: BR; CA; CN; CZ; JP; KR; SG; US;
 DR: AT; BE; CH; DE; DK; ES; FI; FR; GB; GR; IE; IT; LU; MC; NL; PT; SE; LI;
 IC: C25D-005/18; C25D-021/00; C25D-021/12; H03K-005/003;
 MC: L03-H04E3; M11-B05; M11-B07; V04-R02B; X25-R04;
 DC: L03; M11; V04; X25;
 FN: 1996507022.gif
 PR: DE1047948 21.12.1995;
 FP: 21.11.1996
 UP: 28.06.2002



AD



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 195 47 948 C 1

⑤① Int. Cl.⁸:
C 25 D 5/18
C 25 D 21/12

②① Aktenzeichen: 195 47 948.3-45
②② Anmeldetag: 21. 12. 95
④③ Offenlegungstag: —
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 21. 11. 98

DE 195 47 948 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Atotech Deutschland GmbH, 10553 Berlin, DE

⑦② Erfinder:
Hübel, Egon, 90537 Feucht, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

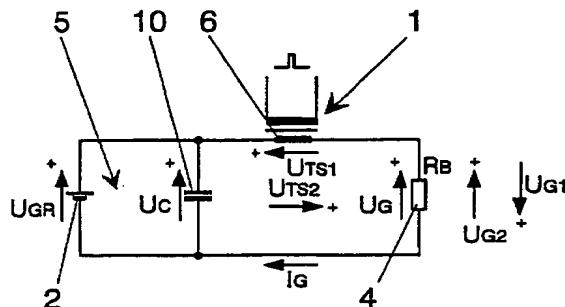
DE 40 05 348 A1
DE 27 39 427 A1
GB 22 14 520 A

⑤④ Verfahren und Schaltungsanordnung zur Erzeugung von Strompulsen zur elektrolytischen Metallabscheidung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von kurzen sich zyklisch wiederholenden unipolaren oder bipolaren pulsförmigen Strömen zum Galvanisieren sowie eine Schaltungsanordnung zur Verfahrensdurchführung. Derartige Galvanisierverfahren werden als Pulse-Plating bezeichnet.

Die Erfindung vermeidet die bekannten elektronischen Hochstromschalter, die infolge der großen Stromflußverluste unwirtschaftlich arbeiten.

In den Galvanisiergleichstromkreis 5, bestehend aus der Badgleichstromquelle 2 und dem Badwiderstand 4 ist erfindungsgemäß die Sekundärwicklung 6 eines Stromtransformators 1 in Serie geschaltet. Die Primärwicklung des Transformators hat eine größere Windungszahl als die Sekundärwicklung. Die Primärwicklung wird mit Pulsen hoher Spannung und vergleichsweise niedrigem Strom angesteuert. Der sekundärseitige hohe pulsförmige Strom kompensiert den Galvanisiergleichstrom. Die Kompensation kann ein Mehrfaches des Galvanisierstromes betragen, so daß Entmetallisierungspulse mit großer Amplitude entstehen. Der Kondensator 10 führt durch Ladung und Entladung den Kompensationsstrom.



DE 195 47 948 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von kurzen, sich zyklisch wiederholenden Strompulsen mit großer Stromstärke und mit großer Flankensteilheit. Ferner betrifft sie eine Schaltungsanordnung zur Verfahrensdurchführung. Anwendung findet das Verfahren bei der elektrolytischen Metallabscheidung, vorzugsweise beim vertikalen oder horizontalen Galvanisieren von Leiterplatten. Diese Art des Galvanisierens wird als Pulse-Plating bezeichnet.

Bekannt ist, daß mit Hilfe von pulsartigen Strömen das elektrolytische Abscheiden von Metallen beeinflusst werden kann. Dies betrifft die chemischen und physikalischen Eigenschaften der abgeschiedenen Schichten. Es betrifft aber auch die Verteilung der Schicht auf der Oberfläche des zu behandelnden Werkstückes, die sogenannte Streuung. Folgende Parameter des pulsierenden Galvanisierstromes beeinflussen diese Eigenschaften:

Pulsfrequenz

Pulszeiten

Pausenzeiten

Pulsamplitude

Pulsanstiegszeit

Pulsabfallzeit

Pulspolarität (galvanisieren, entmetallisieren).

In der Druckschrift DE 27 39 427 A1 wird das Galvanisieren mit pulsierendem Badstrom beschrieben. Die unipolaren Pulse haben hier eine Dauer von maximal 0,1 Millisekunde. Variabel sind die Pulszeit, die Pausenzeit sowie die Pulsamplitude. Zur Erzeugung dieser Pulse dienen Halbleiterschalter. Hier in Form von Transistoren 12. Nachteilig dabei ist, daß durch den Einsatz von Schalttransistoren der maximale pulsierende Badstrom technisch und wirtschaftlich begrenzt ist. Er liegt etwa bei einigen 100 Ampere. Diesen Nachteil vermeidet das in der Druckschrift DE 40 05 346 A1 beschriebene Verfahren. Als schnelle Schaltelemente werden hier abschaltbare Thyristoren, das heißt GTOs, verwendet. Technisch verfügbare GTOs eignen sich für Ströme bis zu 1000 Ampere und mehr.

In beiden Fällen ist der technische Aufwand zu spiegein, d. h. zu verdoppeln, wenn bipolare Pulse benötigt werden. In der Druckschrift GB 2 214 520 A, die sich ebenfalls mit dem Pulse-Plating befaßt, wird in Fig. 1 eine zweite Badstromquelle vermieden. Nachteilig sind die erforderlichen Hochstromschalter, und daß in beiden Polaritäten mit gleicher Stromamplitude gearbeitet werden muß, weil bei kurzen Hochstimpulsen in den praktisch verfügbaren Badstromquellen die Amplitude nicht schnell genug nachgeregt werden kann. Deshalb wird in der Fig. 4 dieser Druckschrift auch mit zwei unabhängig voneinander einstellbaren Badstromquellen 7 und 8 gearbeitet. Diese Badstromquellen wirken auf eine elektrolytische Zelle 4 mit dem Werkstück 2 und der Elektrode 3. Bei der Leiterplattengalvanisierung ist es aus Gründen der geforderten Präzision notwendig, für die Plattenvorderseite und für die Plattenrückseite individuell einstellbare Badgleichstromquellen zu verwenden. Somit verdoppelt sich der gezeichnete Aufwand gemäß der Fig. 4 auf insgesamt vier Badstromquellen.

Neben diesem hohen technischen Aufwand, insbesondere für die zweite Badstromquelle je Leiterplattenseite, verursachen die elektronischen Hochstromschalter große Energieverluste. An jedem elektronischen Schalter entsteht im eingeschalteten Zustand am inneren nichtlinearen Widerstand bei Stromfluß ein Spannungs-

abfall. Dies gilt für alle Arten von Halbleiterelementen gleichermaßen, jedoch mit unterschiedlich großem Spannungsabfall. Mit zunehmendem Strom wird dieser Spannungsabfall, auch Sättigungsspannung oder Flußspannung U_F genannt, größer. Bei den in der Galvanotechnik im allgemeinen vorkommenden Strömen, z. B. bei 1000 Ampere, beträgt die Flußspannung U_F bei Dioden und Transistoren etwa 1 Volt und bei Thyristoren etwa 2 Volt. Die Verlustleistung P_V an jedem dieser Halbleiterelemente berechnet sich mit einem Galvanisierstrom I_G nach der Formel $P_V = U_F \times I_G$. Mit $I_G = 1000$ A sind dies 1000 Watt bis 2000 Watt. Die durch die elektronischen Schalter zusätzlich entstehende Wärme muß durch Kühlung abgeführt werden. In der eigentlichen Badstromquelle entsteht ebenfalls eine Verlustleistung mindestens in der gleichen Größenordnung, die unvermeidlich ist. Diese Verluste sollen in die weiteren Betrachtungen nicht einbezogen werden. Nachfolgend werden nur die zur Pulserzeugung zusätzlich aufzubringenden Verlustleistungen betrachtet.

Eine Galvanisieranlage besteht aus mehreren Galvaniszellen. Sie werden mit großen Badströmen gespeist. Als Beispiel soll eine Horizontalanlage zur Abscheidung von Kupfer auf Leiterplatten aus sauren Elektrolyten betrachtet werden. Die Anwendung der Pulstechnik verbessert die Menge der Kupferabscheidung in den feinen Löchern der Leiterplatten ganz wesentlich. Als besonders wirksam hat es sich erwiesen, wenn die Polarität der Pulse zyklisch gewechselt wird. Bei kathodischer Polarität des Behandlungsgutes wird z. B. mit Strompulsen von 10 Millisekunden Pulsdauer gearbeitet. Diesem Puls folgt ein anodischer Puls mit einer Dauer von einer Millisekunde. Beim pulsartigen kathodischen Metallisieren wird eine Stromdichte gewählt, die größer oder gleich der Stromdichte ist, die mit diesem Elektrolyten beim Gleichstromgalvanisieren angewendet wird. Das kurze pulsartige anodische Entmetallisieren erfolgt demgegenüber mit einer wesentlich höheren Stromdichte. Vorteilhaft ist etwa der Faktor 4.

Die Leiterplatten werden beidseitig, d. h. an ihren Vorder- und Rückseiten mit getrennten Badstromversorgungen galvanisiert. Als Beispiel werden fünf elektrolytische Bäder einer horizontalen Galvanisieranlage betrachtet. Sie haben je Seite fünf Badstromversorgungen mit je 1000 Ampere Nennstrom, d. h. 10 Badstromversorgungsgeräte mit insgesamt 10 000 Ampere. Die Badspannung zum Galvanisieren liegt bei sauren Kupferelektrolyten stromdichteabhängig bei 1 bis 3 Volt. Wegen der hohen Ströme wird als Beispiel die Energiebilanz für den Schaltungsvorschlag in der Druckschrift DE 40 05 346 A1 betrachtet. Der in Fig. 2 dieser Schrift gezeichnete positive Puls wird als ein Galvanisierpuls mit einer Dauer $T = 10$ ms herangezogen. Der negativ dargestellte Puls wird in der Amplitude wesentlich größer als gezeichnet verwendet und zwar mit einer Dauer $t = 1$ ms als Entmetallisierungsimpuls. Ungenauigkeiten durch Flankensteilheiten werden vernachlässigt. Somit führen für die Dauer von 10 ms die Halbleiterelemente 6, 9, 5 den vollen Galvanisierstrom. Die Verlustleistung dieser Schaltelemente beträgt je Badstromversorgung mit den oben angegebenen Flußspannungen U_F in Höhe von $(2 \text{ V} + 1 \text{ V} + 2 \text{ V}) \times 1000 \text{ A} = 5000$ Watt. Für die Dauer von 1 ms führen dann die Halbleiterelemente 7 und 8 gemäß Aufgabenstellung den 4fachen Strom. Diese Verlustleistung beträgt $(2 \text{ V} + 2 \text{ V}) \times 4000 \text{ A} = 16000$ Watt. Die mittlere Hochstromschalter-Verlustleistung eines 11 ms Zyklus' liegt damit bei 6000 Watt. Mit 10 Badstromversorgungen ergibt dies 60 kW. Zur

Wirkungsgradbestimmung ist diese Leistung mit der Leistung zu vergleichen, die zum Galvanisieren und zum Entmetallisieren direkt am elektrolytischen Bad umgesetzt wird. Die Badspannungen werden hierzu für saure Kupferbäder mit 2 Volt zum Galvanisieren und mit 7 Volt zum Entmetallisieren angenommen. Damit beträgt der Mittelwert der Badgesamtleistung zum Pulsgalvanisieren ca. 4,5 kW (für 10 ms $2\text{ V} \times 1000\text{ A}$ und für 1 ms $7\text{ V} \times 4000\text{ A}$). Mit den oben berechneten 6 kW Verlusten liegt somit allein der Wirkungsgrad der Hochstromschalter bezogen auf die Badgesamtleistung deutlich unter 50%.

Eine derart mit elektronischen Hochstromschaltern ausgerüstete Galvanisieranlage arbeitet völlig unwirtschaftlich. Zudem ist der technische Aufwand für die elektronischen Schalter und deren Kühlung sehr groß. Dies hat zur Folge, daß derartige Pulsstromgeräte auch ein großes Volumen haben, was einem räumlich nahen Aufstellen an der elektrolytischen Zelle entgegensteht. Die räumliche Nähe ist aber notwendig, um in der Zelle an den Elektroden die geforderte Flankensteilheit des Badstromes zu erzielen. Lange elektrische Leiter wirken mit ihren parasitären Induktivitäten einem schnellen Stromanstieg entgegen.

Elektromechanische Schalter haben im Vergleich zu den elektronischen Schaltern einen deutlich geringeren Spannungsabfall im geschalteten Zustand. Schalter bzw. Schütze sind jedoch für die geforderte hohe Pulsfrequenz in Höhe von 100 Hertz völlig ungeeignet. Aus den beschriebenen technischen Gründen beschränkt sich das bekannte Pulsgalvanisieren auf spezielle Anwendungen und vorzugsweise auf im galvanotechnischen Sinne niedrige Pulsströme.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine elektrische Schaltung anzugeben, die das Pulsgalvanisieren unipolar und/oder bipolar mit hohen Strömen unter Vermeidung der beschriebenen Nachteile ermöglichen. Gelöst wird die Aufgabe mittels einer bekannten Badgleichstromquelle mit elektrischen Leitern, die zur elektrolytischen Zelle führen. In diesen Galvanisier-Gleichstromkreis, kurz Hochstromkreis genannt, wird seriell auf induktivem Wege mittels eines Stromtransformators ein pulsförmiger Strom derart gepolt eingekoppelt, daß der Badgleichstrom kompensiert oder überkompensiert wird. Hierzu wird in Serie in den Badgleichstromkreis die Stromtransformator-Sekundärwicklung mit niedriger Windungszahl so geschaltet, daß sie vom Badgleichstrom durchflossen wird. Primärseitig hat der Stromtransformator eine hohe Windungszahl, so daß die sie speisenden Pulse entsprechend des Übersetzungsverhältnisses einen niedrigen Strom mit hoher Spannung haben können. Die pulsförmige induzierte niedrige Sekundärspannung treibt den hohen Kompensationsstrom. Zur Schließung des Stromkreises für den pulsförmigen Kompensationsstrom dient ein Kondensator, der parallel zur Badgleichstromquelle geschaltet ist.

Die Erfindung wird anhand der Fig. 1 bis 6 näher erläutert.

Fig. 1a bis 1e zeigen beispielhaft unipolare und bipolare Galvanisierströme, so wie sie in der Praxis vorkommen.

Fig. 2a und 2b zeigen die Einspeisung des Kompensationsstromes in den Hochstromkreis. Fig. 2a gilt für die Dauer der Galvanisierzeit und Fig. 2b gilt für die Entmetallisierzeit.

Fig. 3 zeigt schematisch das zugehörige Stromdiagramm für den Badstrom.

Fig. 4a zeigt Spannungsverläufe im Hochstromkreis

unter Berücksichtigung der Anstiegs- und Abfallzeiten.

Fig. 4b zeigt das elektrische Schaltbild mit eingetragenen Potentialen.

Fig. 5 zeigt eine mögliche Ansteuerung des Stromtransformators.

Fig. 6 zeigt die Anwendung des Verfahrens zum Galvanisieren von Leiterplatten.

In Fig. 1 soll ein positiv gezeichneter Badstrom für das elektrolytische Metallisieren gelten, d. h. das Behandlungsgut ist gegenüber der Anode negativ gepolt. Ein negativ gezeichneter Badstrom soll für das elektrolytische Entmetallisieren gelten. Das Behandlungsgut ist gegenüber der Anode positiv gepolt. Das Diagramm in Fig. 1a gilt für das Galvanisieren mit Gleichstrom.

In Fig. 1b wird der Badstrom kurzzeitig unterbrochen. Er bleibt jedoch unipolar. Die Pulszeiten liegen in der Größenordnung von 0,1 Millisekunden bis zu Sekunden. Die Pausenzeiten sind entsprechend kürzer. Fig. 1c zeigt einen pulsförmigen unipolaren Strom mit unterschiedlichen Amplituden. Fig. 1d zeigt einen bipolaren pulsförmigen Strom mit einer langen Galvanisierzeit und mit einer kurzen Entmetallisierzeit. Die Entmetallisierungsamplitude ist hier ein Vielfaches der Metallisierungsamplitude. Insgesamt bleibt jedoch bei einer Galvanisierzeit von z. B. 10 ms und bei einer Entmetallisierzeit von 1 ms ein deutlicher Galvanisierungsüberschuß vorhanden. Diese Pulsform ist für das beidseitige Galvanisieren von Leiterplatten mit feinen Löchern geeignet. Fig. 1e zeigt eine doppelte Pulsform, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielt werden kann. Unipolare Pulse wechseln hier mit bipolaren Pulsen ab.

Die Galvanisierzelle stellt für den Galvanisierstrom in guter Näherung eine ohmsche Last dar. Bei einer Badstromversorgung gemäß Fig. 1a sind deshalb Badstrom und Badspannung in Phase. Die geringen parasitären Induktivitäten der elektrischen Leiter zur elektrolytischen Zelle und zur Stromquelle zurück wirken sich nicht aus. Pulsströme beinhalten dagegen Wechselströme. Mit zunehmender Flankensteilheit der Pulse wird der Anteil der hohen Frequenzen der Wechselströme größer. Steile Pulsflanken haben eine kurze Pulsanstiegs- und -abfallzeit. Die Leitungsinduktivitäten stellen induktive Widerstände für diese Wechselströme dar. Sie verzögern die Pulsflanken. Diese Effekte werden im nachfolgenden nicht betrachtet. Sie sind unabhängig von der Art der Pulserzeugung immer gleich, wenn keine besonderen Maßnahmen ergriffen werden. Die einfachsten Maßnahmen sind sehr kurze elektrische Leitungen mit sehr niedrigen ohmschen und induktiven Widerständen. In den Figuren wird zur Vereinfachung der Zeichnung der Galvanisierstrom immer in Phase mit der Spannung dargestellt bzw. angenommen.

Die Fig. 2a und 2b zeigen die erfindungsgemäße Einspeisung des pulsförmigen Kompensationsstromes mittels des Stromtransformators 1. Die Badgleichstromquelle 2 ist durch elektrische Leiter 3 mit dem elektrolytischen Bad, das hier als Badwiderstand R_B mit der Bezugzahl 4 dargestellt ist, verbunden. In diesen Hochstromkreis 5 ist die Sekundärwicklung 6 des Stromtransformators 1 in Serie geschaltet. Die Primärseite 7 des Trafos wird von einer Leistungs-Pulselektronik 8 gespeist. Die Leistungs-Pulselektronik 8 wird über den Netzspannungsanschluß 9 mit Energie versorgt. Die Ströme und Spannungen für die Pulse gemäß Fig. 1d decken prinzipiell auch die Pulsformen der anderen Diagramme in Fig. 1 ab. Sie unterscheiden sich nur in der momentanen Größe des Kompensationsstromes. Deshalb werden die zu Fig. 1d gehörenden Spannungen

bzw. Ströme in die Figuren eingezeichnet und betrachtet.

Die Fig. 2a gilt für die Zeit des Galvanisierens. Als ein Beispiel sind Potentiale in Klammern eingezeichnet. Der Kondensator C ist auf die Spannung $U_C \approx U_{GR}$ aufgeladen. Die Spannung U_{TS} am Stromtransformator 1 beträgt 0 Volt. Damit liegt, von Spannungsabfällen an den Leitungswiderständen und am Widerstand der Sekundärwicklung 6 abgesehen, die Gleichrichterspannung U_{GR} am Badwiderstand 4 und bewirkt den Galvanisierstrom I_G . Dieser temporäre Zustand entspricht dem Galvanisieren mit Gleichstrom. Im Hochstromkreis 5 werden erfindungsgemäß keine Schalter benötigt. Fig. 2b gilt für die Zeit des Entmetallisierens. Die Potentiale können nicht mehr statisch betrachtet werden. Deshalb werden in Fig. 2b die Potentiale für das zeitliche Ende des Entmetallisierungspulses in Klammern eingetragen. Ausgangspunkt sind die Potentiale der Fig. 2a. Die Leistungs-Pulselektronik 8 speist die Primärwicklung 7 des Stromtransformators 1 mit einem sich zeitlich in der Amplitude ändernden Strom. Die Stromflußzeit entspricht der Dauer des Kompensationsstromflusses im Hauptstromkreis 5. Die Primärspannung U_{TP} ist so groß, das entsprechend der Transformatorwindungszahlen sekundär eine Transformatorpulsspannung U_{TS} erzielt wird, die in der Lage ist den geforderten Kompensationsstrom I_K zu treiben. Dabei wird der Kondensator C mit der Zeitkonstante $\tau = R_B \times C$ von der Spannung $U_C \approx U_{GR}$ ausgehend weiter mit der Spannung U_{TS} aufgeladen. Der Ladestrom ist der Kompensationsstrom I_K und zugleich der Entmetallisierungsstrom I_E . Bei großer Kapazität des Kondensators C kann die Spannungsanhebung in der kurzen Zeit des Ladestromflusses niedrig gehalten werden. Anstelle des Kondensators C kann grundsätzlich auch ein Akkumulator Verwendung finden. Die Badgleichstromquelle 2, bestehend aus einer Gleichrichterbrückenschaltung schaltet sich für die Dauer der Entmetallisierzeit selbsttätig ab, weil durch die Aufladung die Spannung $U_C > U_{GR}$ wird. Zur Vermeidung eines kurzzeitigen Rückwärtsstromes im Abschaltmoment bei trägen Gleichrichterelementen in der Badgleichstromquelle 2 kann eine Drossel 11 in den Hochstromkreis 5 eingefügt werden. Auf dem Weg über den Stromtransformator 1 wird die Energie zum Entmetallisieren aufgebracht. Der hohe, jedoch zeitlich kurze Entmetallisierstrom I_E in der Sekundärwicklung 6 wird primär eingespeist. Mit dem Stromtransformator-Übersetzungsverhältnis \bar{u} ist der Strom untersetzt.

Hat dieser Trafo ein Übersetzungsverhältnis von z. B. 100 : 1, so sind für 4000 A Kompensationsstrom I_K primär nur ca. 40 A einzuspeisen. Für die Sekundärspannung $U_{TS} = 10$ V sind in diesem Beispiel primär ca. 1000 V erforderlich. Die Leistungs-Pulselektronik ist also für eine hohe Spannung und für vergleichsweise niedrige pulsförmige Ströme zu dimensionieren. Dafür stehen kostengünstige Halbleiterbauelemente zur Verfügung. Somit ist auch für den hohen Entmetallisierungsstrom im Hauptstromkreis 5 kein Hochstromschalter notwendig.

Die zur Pulserzeugung aufzuwendende Verlustleistung ist im Vergleich zum Stand der Technik sehr gering. Schon die Berechnung der dominierenden Verluste zeigt den Unterschied wie folgt: In der Leistungs-Pulselektronik u. a. bestehend aus einem elektronischen Schalter mit einer Flußspannung $U_F = 2$ V beträgt die Schalterverlustleistung $P = 40 \text{ A} \times 2 \text{ V} \times \text{ca. } 10\% \text{ Stromfluß ca. } 8 \text{ Watt}$. Desgleichen sind 8 Watt für den

umgekehrten Transformatorstromfluß zur Trafoentsättigung nötig. Bei 10 Badstromversorgungen sind dies zusammen 160 Watt. In den Vergleich der gesamten Schalterverluste mit dem oben beschriebenen Stand der Technik müssen die Stromtransformatorverluste einbezogen werden. Wird eine sehr gute Kopplung des Trafos z. B. mit einem Schnittband-Ringkern und mit hochpermeablen dünnen Blechen verwendet, so ist mit einem Trafowirkungsgrad von $\eta = 90\%$ zu rechnen. Bei 4000 A Kompensationsstrom und 7 V Spannung betragen diese Trafoverluste mit ca. 10% Stromflußzeit insgesamt ca. 560 Watt. Damit ergibt sich für 10 Badstromversorgungen eine Gesamtverlustleistung zur Erzeugung des pulsförmigen Galvanisierstromes in Höhe von 160 Watt für die Schalter und 5600 Watt für die Stromtransformatoren. In der Summe sind dies für die dominierenden Verluste ca. 6 kW. Im oben berechneten Beispiel nach dem Stand der Technik waren dies 60 kW.

Der technische Aufwand zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist ebenfalls wesentlich geringer. Es werden nur passive Bauelemente mit den hohen Galvanisierströmen und mit den noch höheren Entmetallisierströmen belastet. Dies steigert wesentlich die Zuverlässigkeit der Pulsstromversorgungsgeräte. Derart ausgerüstete Galvanoanlagen haben eine deutlich höhere Verfügbarkeit. Erreicht wird das zudem mit wesentlich geringerem Investitionsaufwand. Zugleich ist der fortlaufende Energieverbrauch geringer. Wegen des geringeren technischen Aufwandes ist das Volumen derartiger Pulsgeräte klein, was ihr Anordnen in Badnähe erleichtert. Die Leitungsinduktivitäten des Hauptstromkreises reduzieren sich damit auf ein Minimum.

In Fig. 3 ist der pulsförmige Stromverlauf an dem Badwiderstand R_B 4 schematisch dargestellt. Wegen des ohmschen Widerstand R_B sind hier Badstrom und Badspannung in Phase. Im Zeitpunkt t_1 beginnt der Kompensationsstromfluß. Die Größe und Richtung wird von den Momentanspannungen U_C und U_{TS} bestimmt. Im Zeitpunkt t_2 endet der Kompensationsstromfluß. Der darauf folgende Galvanisierstrom I_G wird von der Gleichrichterspannung U_{GR} bestimmt jeweils in Verbindung mit dem Badwiderstand R_B .

Die Momentanspannungen in den Diagrammen der Fig. 4 sind mit ihren Flanken genauer dargestellt. Der Galvanisierstrom I_G ist mit der Galvanisierspannung U_G praktisch in Phase. I_G ist deshalb wegen des gleichen Verlaufes nicht eingezeichnet. Im Ausgangspunkt der Betrachtungen sind die Gleichrichterspannung U_{GR} ungefähr gleich der Kondensatorspannung U_C und ungefähr gleich der Galvanisierspannung U_G . Die Spannung U_{TS} ist 0 Volt. Im Zeitpunkt t beginnt der Anstieg des Spannungspulses U_{TS1} an der Sekundärwicklung 6 des Stromtransformators 1. Die Spannung U_{TS1} ist so gepolt, daß die Galvanisierspannung U_G negativ wird. U_G wird gebildet aus der Summe der Momentanspannungen U_C und U_{TS} . Die Spannung U_{TS} ist am Kondensator C in Richtung der bestehenden Ladung gepolt. Der Kondensator C beginnt sich daher auf die Spannung U_{TS} weiter aufzuladen und zwar mit der Zeitkonstanten $\tau = R_B \times C$. Im Zeitpunkt t_2 beginnt der Abfall des Spannungspulses U_{TS1} . Wegen der Induktivität des Stromtransformator-Sekundärkreises endet der abfallende Spannungspuls nicht an der Nulllinie. Durch Spannungsinduktion tritt eine umgekehrt gepolte Spannung U_{TS2} auf. Diese addiert sich jetzt mit der Kondensatorspannung U_C . Am Badwiderstand R_B tritt eine kurzzeitige Spannungsüberhöhung U_{G2} auf. Der Kondensator C beginnt sich mit der Zeitkonstanten $\tau = R_B \times C$ zu

entladen und zwar in Richtung 0 Volt. Im Zeitpunkt t_3 endet diese Entladung. Die Badgleichstromquelle U_{GR} übernimmt wieder die Speisung des Badwiderstands R_B . Die Spannungen U_{GR} , U_C und U_G sind wieder ungefähr gleich groß. Die kurzzeitige Spannungsüberhöhung am Badwiderstand R_B ist aus galvanotechnischen Gründen erwünscht. In der Praxis sind diese Spitze und die weiteren Spitzen anders als hier dargestellt, deutlich abgerundet. Eine Freilaufdiode parallel zur Sekundärwicklung oder parallel zu einer weiteren Wicklung auf dem Kern des Stromtransformators bewirken bedarfsweise eine weitere Abschwächung der Spannungserhöhung am Badwiderstand R_B . Dafür steht die geringere Überspannung länger an. Auf diese bekannten Beschaltungen von Induktivitäten soll hier nicht weiter eingegangen werden. Desgleichen auch nicht auf die Konstruktion des Stromtransformators, der als Pulstransformator aufzubauen ist. Es soll aber darauf hingewiesen werden, daß primärseitig der Trafo mit Pulsen so einzuspeisen ist, daß eine magnetische Sättigung des Transformator Eisens vermieden wird. Zur Entsättigung steht nach jedem Gleichstrompuls in den Pulspausen genügend Zeit zur Einspeisung eines Stromes mit umgekehrter Polarität zur Verfügung. Hierzu kann eine zusätzliche Wicklung auf den Transformator kern aufgebracht werden. Ein Beispiel zur primärseitigen Ansteuerung des Stromtransformators 1 zeigt Fig. 5. Eine Hilfsspannungsquelle 12 wird von einem Ladekondensator 13 gestützt. Ein elektronischer Schalter 14, hier ein IGBT, wird von Spannungsimpulsen 15 angesteuert. Im durchgeschalteten Zustand des elektronischen Schalters 14 fließt in die Teilwicklung I der Primärwicklung 7 des Stromtransformators 1 ein Primärstrom und zur Vereinfachung der Schaltung ein Entsättigungsstrom in der Teilwicklung II. Im nicht durchgeschalteten Zustand fließt nur ein Entsättigungsstrom in der Teilwicklung II. Zur Aufwandreduzierung wird hier für diesen Strom auf einen möglichen weiteren elektronischen Schalter verzichtet. Die Windungszahlen der Teilwicklungen I und II sowie der Vorwiderstand 17, über den permanent ein Strom geringer Größe fließt, sind aufeinander so abgestimmt, daß eine Sättigung des Transformator Eisens nicht erfolgt. Den primären Strom I_{TP} zeigt schematisch das Stromdiagramm 18 in der Fig. 5.

Fig. 6 zeigt die Anwendung der Pulsstromeinheiten 19 in einem vertikal arbeitenden Galvanisierbad 20 mit zwei Badgleichstromquellen 2. Das Behandlungsgut 21, zum Beispiel eine Leiterplatte, wird je Seite von einer dieser Stromquellen 2 mit Galvanisierstrom versorgt. Jede Leiterplattenseite hat eine Anode 22. Während des kurzen Entmetallisierungspulses arbeiten diese Anoden als Kathoden in Bezug zum Behandlungsgut, das dann anodisch gepolt ist.

Beide Pulsstromeinheiten können zueinander asynchron oder synchron arbeiten. Zur Lochgalvanisierung von Leiterplatten ist es vorteilhaft, wenn die gleichfrequenten Pulsfolgen beider Pulsstromeinheiten synchronisiert sind und wenn zugleich eine Phasenverschiebung der Pulse vorliegt. Die Phasenverschiebung muß derart sein, daß während des Galvanisierens auf der einen Leiterplattenseite der Entmetallisierungspuls auf der anderen Seite auftritt und umgekehrt. In diesem Falle wird die Streuung, daß heißt die Lochgalvanisierung verbessert.

Die Erfindung eignet sich für alle Pulsgalvanisierverfahren. Sie kann in vertikal oder horizontal arbeitenden Galvanisieranlagen zur Anwendung kommen. Die in dieser Beschreibung genannten Zeiten und Amplituden

können in praktischen Anwendungsfällen in weiten Bereichen geändert werden.

In der Beschreibung verwendete Begriffe:

- 5 U_G Galvanisierspannung
- U_{GR} Gleichrichterspannung
- U_C Kondensatorspannung
- U_{TP} Primäre Transformatorpulsspannung
- U_{TS} Sekundäre Transformatorpulsspannung
- 10 U_F Flußspannung
- I_G Galvanisierstrom
- I_E Entmetallisierstrom
- I_K Kompensationsstrom
- P_V Verlustleistung
- 15 \bar{u} Stromtransformator-Übersetzungsverhältnis

Bezugszeichenliste

- 1 Stromtransformator
- 20 2 Badgleichstromquelle
- 3 Elektrische Leiter
- 4 Badwiderstand R_B
- 5 Hochstromkreis
- 6 Sekundärwicklung
- 25 7 Primärwicklung
- 8 Leistungs-Pulselektronik
- 9 Netzanschluß
- 10 Kondensator C
- 11 Drossel
- 30 12 Hilfsspannungsquelle
- 13 Ladekondensator C_L
- 14 Elektronischer Schalter
- 15 Spannungsimpulse
- 16 Spannungsdiagramm
- 35 17 Vorwiderstand
- 18 Stromdiagramm
- 19 Pulsstromeinheit
- 20 Galvanisierbad
- 21 Behandlungsgut
- 40 22 Anode

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von kurzen sich zyklisch wiederholenden unipolaren oder bipolaren pulsförmigen Strömen zum Galvanisieren, dadurch gekennzeichnet, daß in den von einer Badgleichstromquelle und einer elektrolytischen Zelle gebildeten Galvanisiergleichstromkreis seriell auf induktivem Wege ein pulsförmiger Strom derart gepolt eingekoppelt wird, daß der Badgleichstrom kompensiert oder überkompensiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die serielle Einkoppelung des pulsförmigen Kompensationsstromes transformatorisch erfolgt.
3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Kompensationsstrom als Ladestrom geführt wird.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in den Kompensationsstrompausen die Entladung des sich beim Kompensieren aufladenden Kondensators oder des Akkus erfolgt.
5. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Badgleichstromquelle bei der Stromkompensation, ohne Schaltmittel zu verwenden, selbsttätig keinen Strom mehr einspeist und nach der Stromkompen-

sation selbsttätig wieder speist.

6. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung von unipolaren Galvanisierstrompulsen die Kompensationsstrompulse in der Amplitude kleiner oder gleich der Galvanisierstromamplitude sind. 5

7. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung von bipolaren Galvanisier- und Entmetallisierstrompulsen die Kompensationsstrompulse in der Amplitude größer sind als die Amplitude des Galvanisierstromes. 10

8. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Puls zum Entmetallisieren in der Amplitude größer und in der Zeit kürzer als der Puls zum Metallisieren eingestellt wird. 15

9. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei getrennter elektrolytischer Behandlung der Vorder- und Rückseite eines Gutes die gleichfrequenten Pulsfolgen beider Seiten asynchron sind. 20

10. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei getrennter elektrolytischer Behandlung der Vorder- und Rückseite eines Gutes die gleichfrequenten Pulsfolgen beider Seiten synchron sind. 25

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den beiden Pulsfolgen eine konstante Phasenverschiebung so eingehalten wird, daß auf beiden Seiten des Behandlungsgutes nicht zugleich entmetallisiert wird. 30

12. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß mit einem Ringkern-Stromtransformator das Bauvolumen der Pulsstromeinheit klein gehalten wird. 35

13. Schaltungsanordnung zur Erzeugung von kurzen sich zyklisch wiederholenden unipolaren oder bipolaren pulsförmigen Strömen zum Galvanisieren, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 12, gekennzeichnet durch einen Galvanisierstromkreis bestehend aus der Serienschaltung einer Sekundärwicklung (6) eines Stromtransformators (1), einer Badgleichstromquelle (2) und eines Badwiderstandes R_B (4) sowie der Parallelschaltung eines Kondensators C (10) zur Badgleichstromquelle (2). 40 45

14. Schaltungsanordnung nach Anspruch 13 gekennzeichnet durch einen Stromtransformator (1) mit einer Primärwicklung (7), die eine größere Windungszahl hat als die Sekundärwicklung (6). 50

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

- Leerseite -

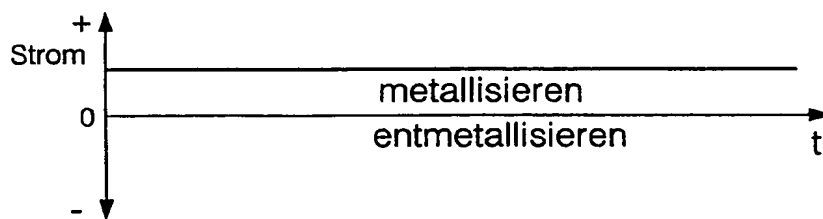


Fig. 1a

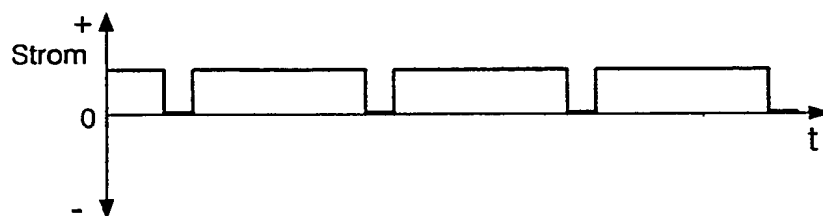


Fig. 1b

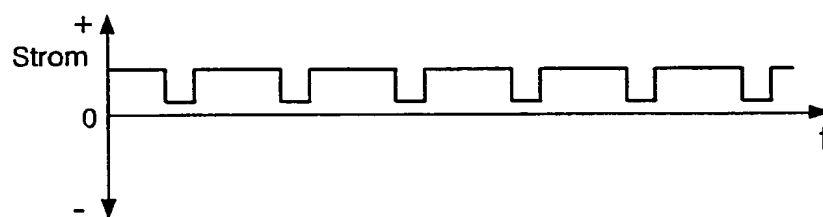


Fig. 1c

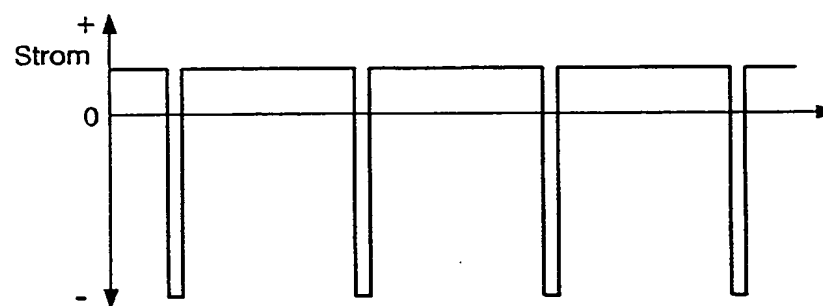


Fig. 1d

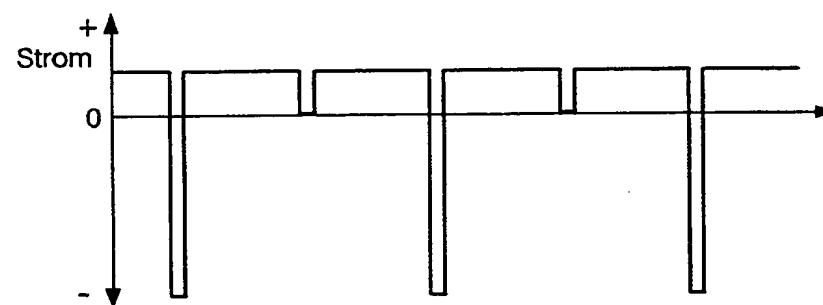
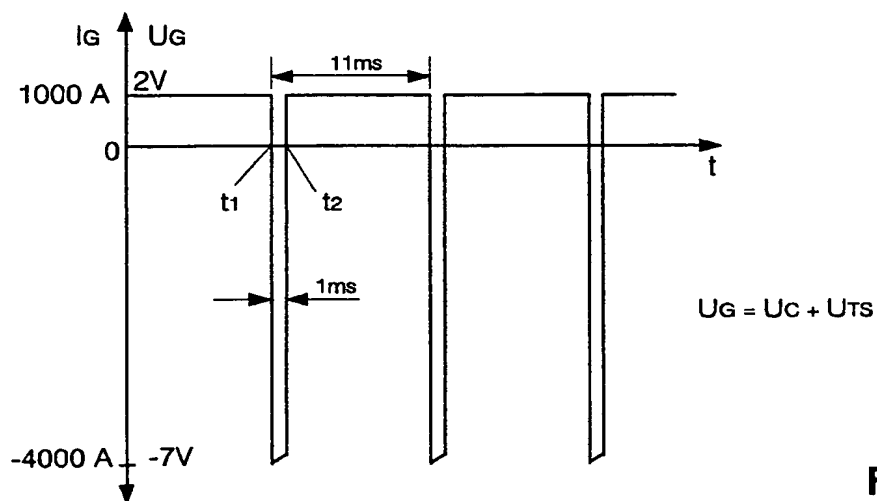
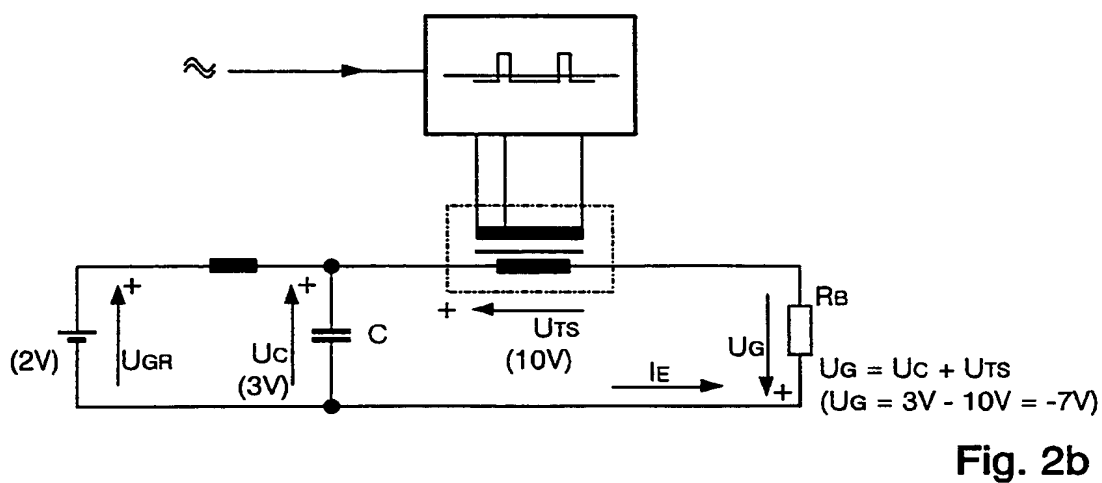
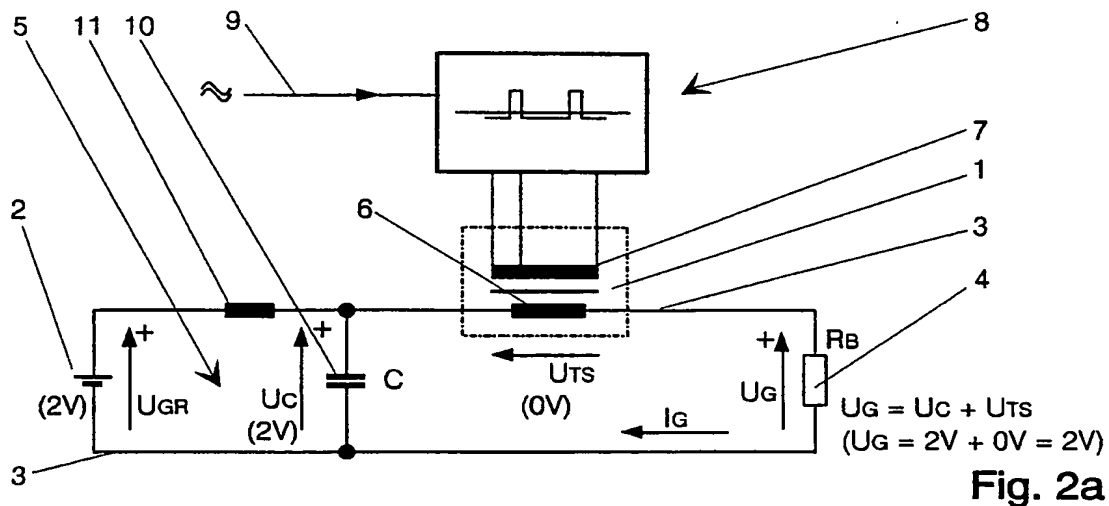


Fig. 1e



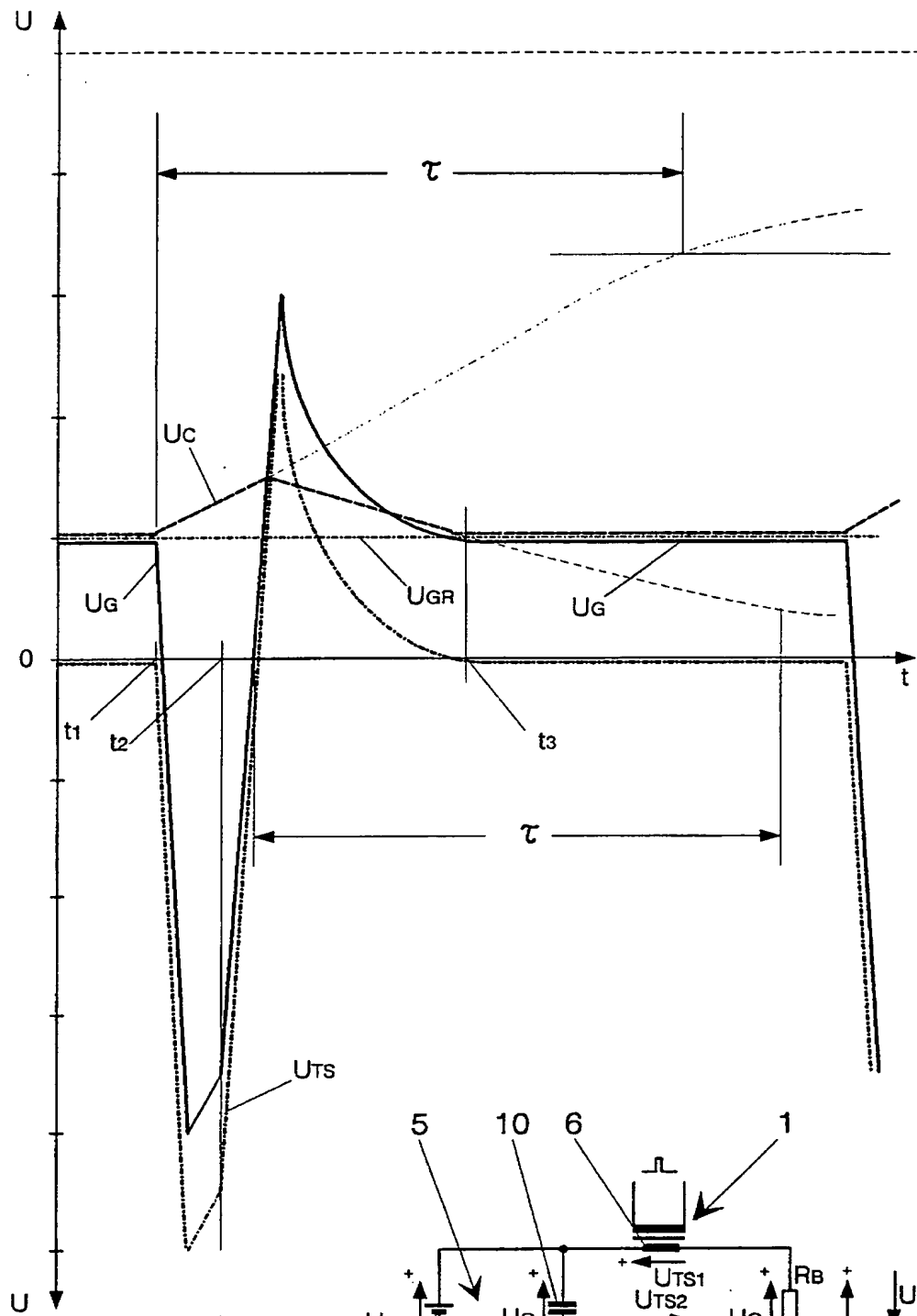


Fig. 4a

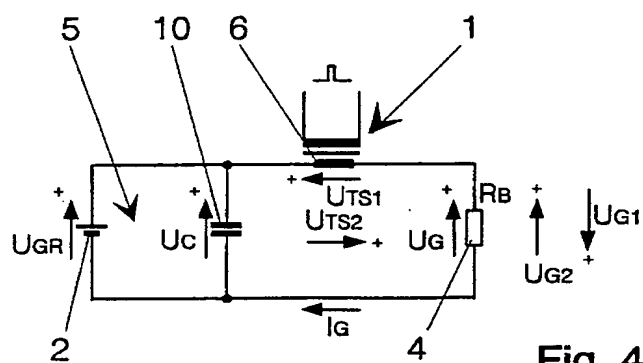


Fig. 4b

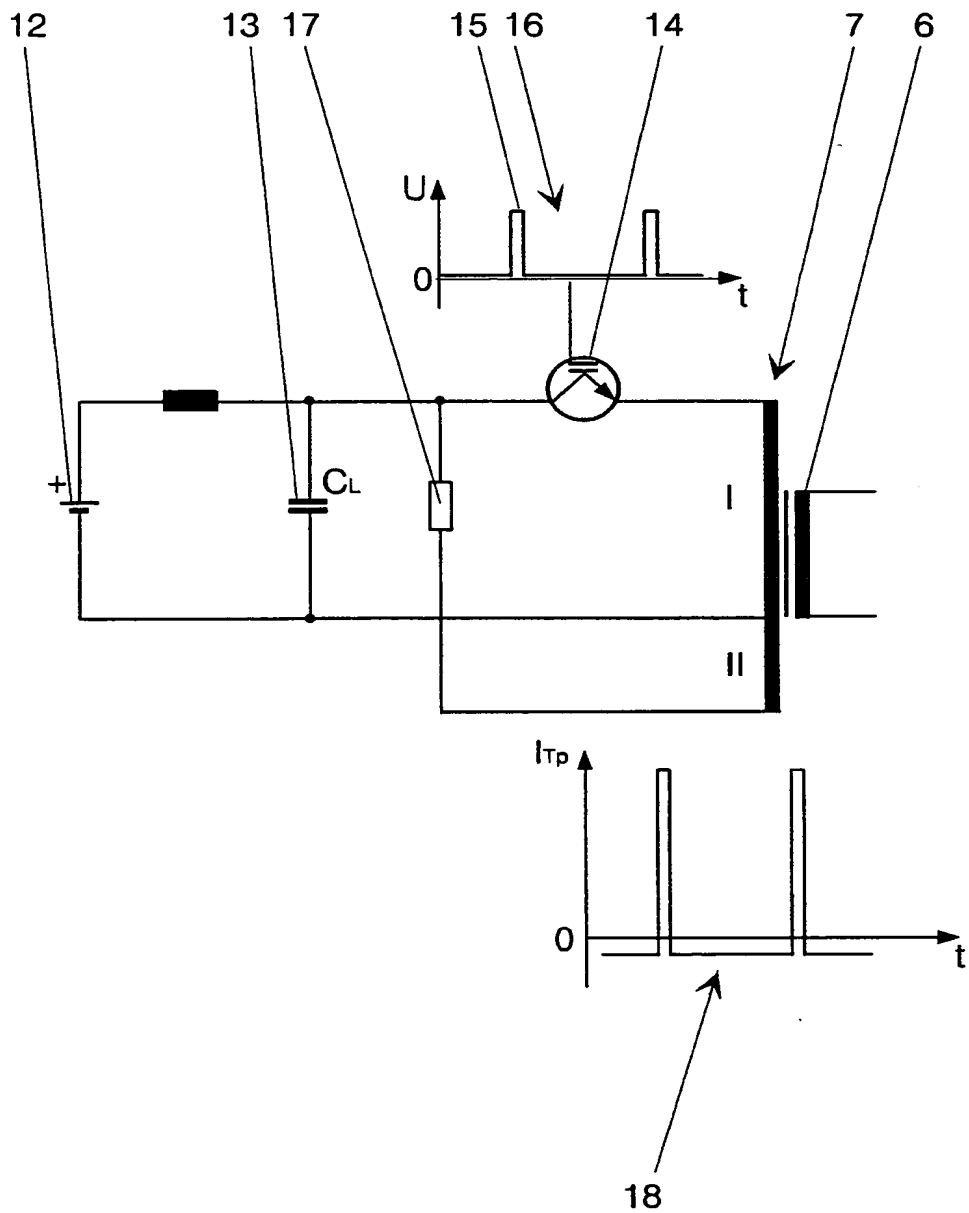


Fig. 5

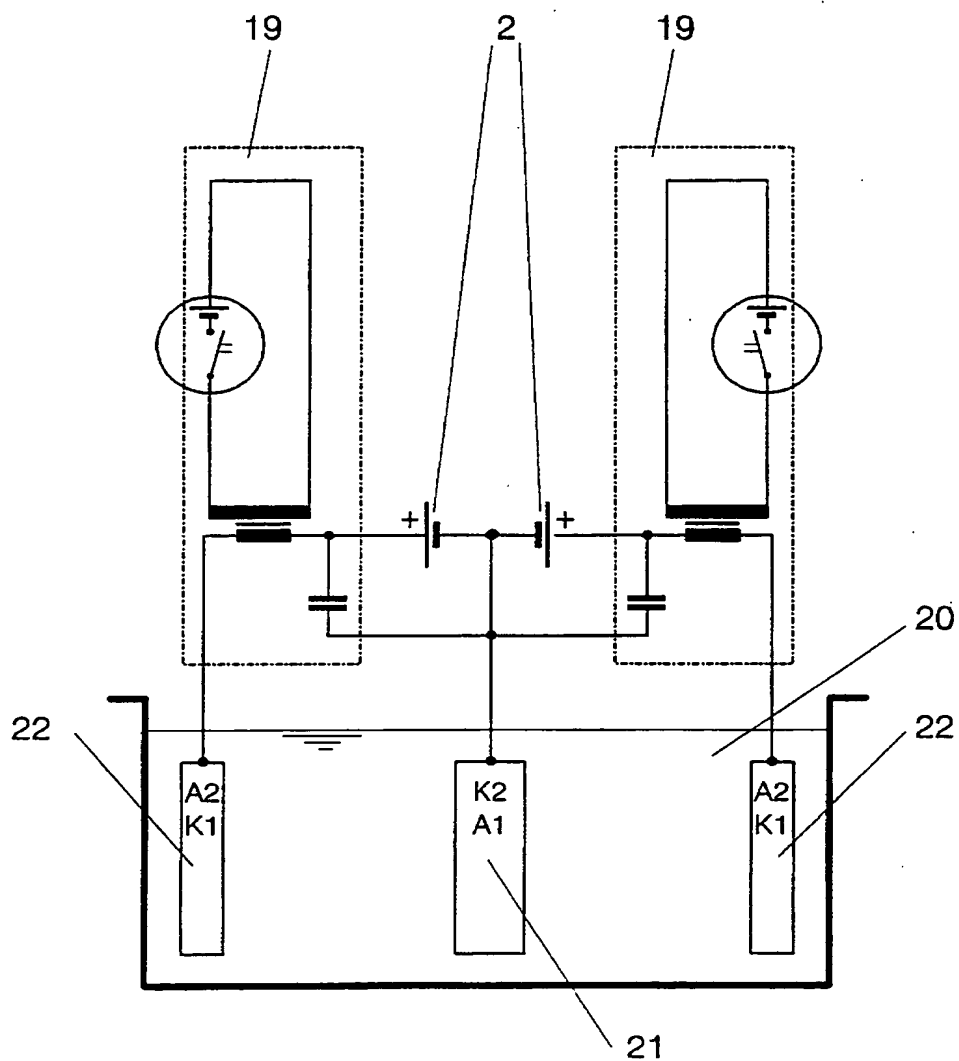


Fig. 6